

Задача 1(9). Для трехфазного трансформатора, параметры которого приведены в табл.1. определить коэффициент мощности холостого хода $\cos \varphi_0$, коэффициент мощности $\cos \varphi$ при нагрузках $\beta = 0,7$ и $\cos \varphi_2 = 1$, $\beta = 0,7$ и $\cos \varphi_2 = 0,75$, сопротивления первичной и вторичной обмоток $r_1, x_1; r_2$ и x_2 , расчетные сопротивления z_0, r_0 и x_0 , угол магнитных потерь δ . Построить векторную диаграмму трансформатора для нагрузки $\beta = 0,8$ и $\cos \varphi_2 = 0,75$. Построить внешнюю характеристику $U_2 = f_1(\beta)$ и зависимость КПД от нагрузки $\eta = f_2(\beta)$ для $\cos \varphi_2 = 0,75$. Начертить T-образную схему замещения трансформатора.

+

Таблица 1 – Данные для трансформатора

Вариант	$S_H,$ кВА	Номинальное напряжение		$u_K,$ %	$P_K,$ Вт	$P_0,$ Вт	$i_0,$ %
		$U_{1H},$ кВ	$U_{20},$ кВ				
24	420	10000	525	5,5	7000	2100	6,5

Схема трансформатора при соединении обмоток Y/Y₀ - 0 (рис. 1)

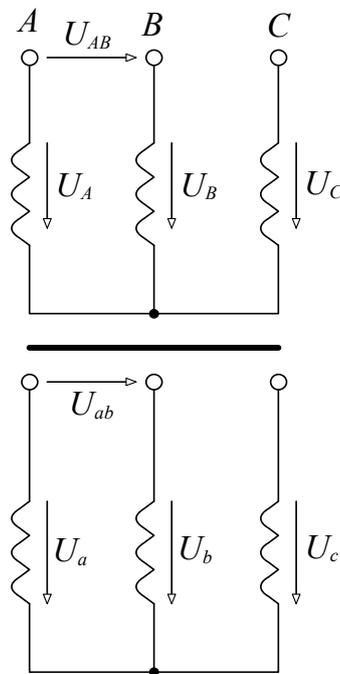


Рис. 1. Схема трансформатора при соединении обмоток Y/Y₀ - 0

Решение

Номинальный ток первичной обмотки

$$I_{1H} = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_{1H}} = \frac{420 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10000} = 24.249 \text{ A}$$

Ток холостого хода и $\cos \varphi$

$$I_0 = \frac{i_0}{100} I_{1H} = \frac{6.5}{100} \cdot 24.249 = 1.5762 \text{ A}$$

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot U_{1H} \cdot I_0} = \frac{2100}{\sqrt{3} \cdot 10000 \cdot 1.5762} = 0.0769$$

Угол магнитных потерь

$$\delta = 90^\circ - \varphi_0 = 90 - 85.6 = 4.4^\circ$$

Сопротивления обмоток.

1) Сопротивления короткого замыкания

$$z_k = \frac{U_{k.\phi}}{I_{k.\phi}} = \frac{u_k \cdot U_{1H}}{\sqrt{3} I_{1H}} = \frac{0.055 \cdot 10000}{\sqrt{3} \cdot 24.249} = 13.095 \text{ Ом}$$

$$r_k = \frac{P_k}{3I_k^2} = \frac{7000}{3 \cdot 24.249^2} = 3.968 \text{ Ом}$$

$$x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2} = \sqrt{13.095^2 - 3.968^2} = 12.479 \text{ Ом}$$

2) Сопротивления первичной обмотки

$$r_1 = r_2' = \frac{r_k}{2} = \frac{3.968}{2} = 1.984 \text{ Ом}$$

$$x_{\sigma 1} = x_{\sigma 2}' = \frac{x_k}{2} = \frac{12.479}{2} = 6.239 \text{ Ом}$$

3) Сопротивления вторичной обмотки

$$r_2 = \frac{r_2'}{K^2} = \frac{1.984}{19.05^2} = 0.0055 \text{ Ом}$$

$$x_{\sigma 2} = \frac{x_{\sigma 2}'}{K^2} = \frac{6.239}{19.05^2} = 0.0172 \text{ Ом}$$

где K – коэффициент трансформации

$$K = \frac{U_{1H}}{U_{20}} = \frac{10000}{525} = 19.05$$

Сопротивления намагничивающей цепи

$$z_0 = \frac{U_{н.ф}}{I_{н.ф}} = \frac{U_{1н}}{\sqrt{3}I_0} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 1.5762} = 3663 \text{ Ом}$$

$$r_0 = \frac{P_0}{3I_0^2} = \frac{2100}{3 \cdot 1.5762^2} = 282 \text{ Ом}$$

$$x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2} = \sqrt{3663^2 - 282^2} = 3652 \text{ Ом}$$

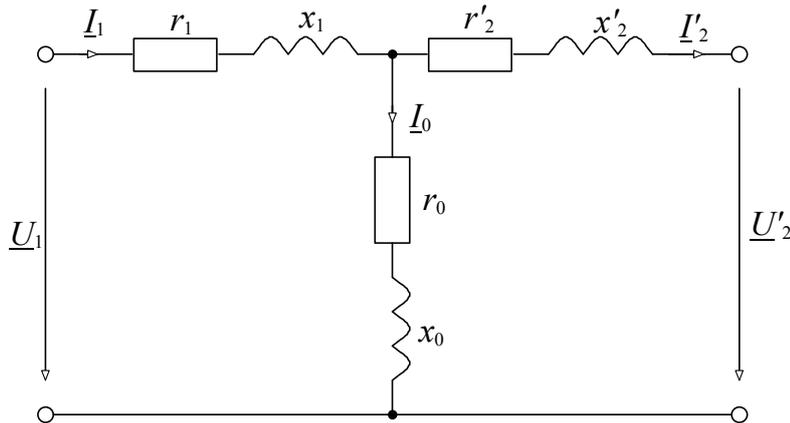


Рис. 2. T-образная схема замещения трансформатора

Для построения внешней характеристики $U_2 = f_1(\beta)$ определяем потерю напряжения во вторичной обмотке трансформатора

$$\Delta U_2 \% = \beta (u_a \% \cdot \cos \varphi_2 + u_p \% \cdot \sin \varphi_2) \quad (1)$$

где $u_a \%$, $u_p \%$ – соответственно активное и реактивное падения напряжений;

$$u_a \% = u_k \% \cdot \cos \varphi_k; \quad \cos \varphi_k = \frac{r_k}{z_k};$$

$$u_a \% = u_k \% \cdot \frac{r_k}{z_k} = 5.5 \cdot \frac{3.968}{13.095} = 1.667 \%$$

$$u_p \% = \sqrt{(u_k \%)^2 - (u_a \%)^2} = \sqrt{5.5^2 - 1.667^2} = 5.24 \%$$

Напряжение на вторичной обмотке трансформатора определяем по формуле

$$U_2 = \frac{U_{20}}{100} (100 - \Delta U_2 \%) \quad (2)$$

Задаваясь различными значениями β , по формулам (1) и (2) определяем напряжение U_2 (табл. 2)

Для построения зависимости $\eta = f_2(\beta)$ расчет коэффициента полезного действия производим по формуле

$$\eta(\beta) = \frac{\beta \cdot S_H \cdot \cos \varphi_2}{\beta \cdot S_H \cdot \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_k} \quad (3)$$

Таблица 2 – Построение зависимостей $U_2 = f_1(\beta)$ и $\eta = f_2(\beta)$

№ п/п	β	$\Delta U_2, \%$	U_2, B	η
1	0,01	0,047	524,8	0,600
2	0,025	0,118	524,4	0,789
3	0,05	0,236	523,8	0,881
4	0,1	0,472	522,5	0,936
5	0,2	0,943	520,0	0,964
6	0,3	1,415	517,6	0,972
7	0,4	1,887	515,1	0,975
8	0,5	2,358	512,6	0,976
9	0,6	2,830	510,1	0,976
10	0,7	3,302	507,7	0,976
11	0,8	3,773	505,2	0,975
12	0,9	4,245	502,7	0,973
13	1	4,717	500,2	0,972

Строим графики зависимостей $U_2(\beta)$ и $\eta(\beta)$.

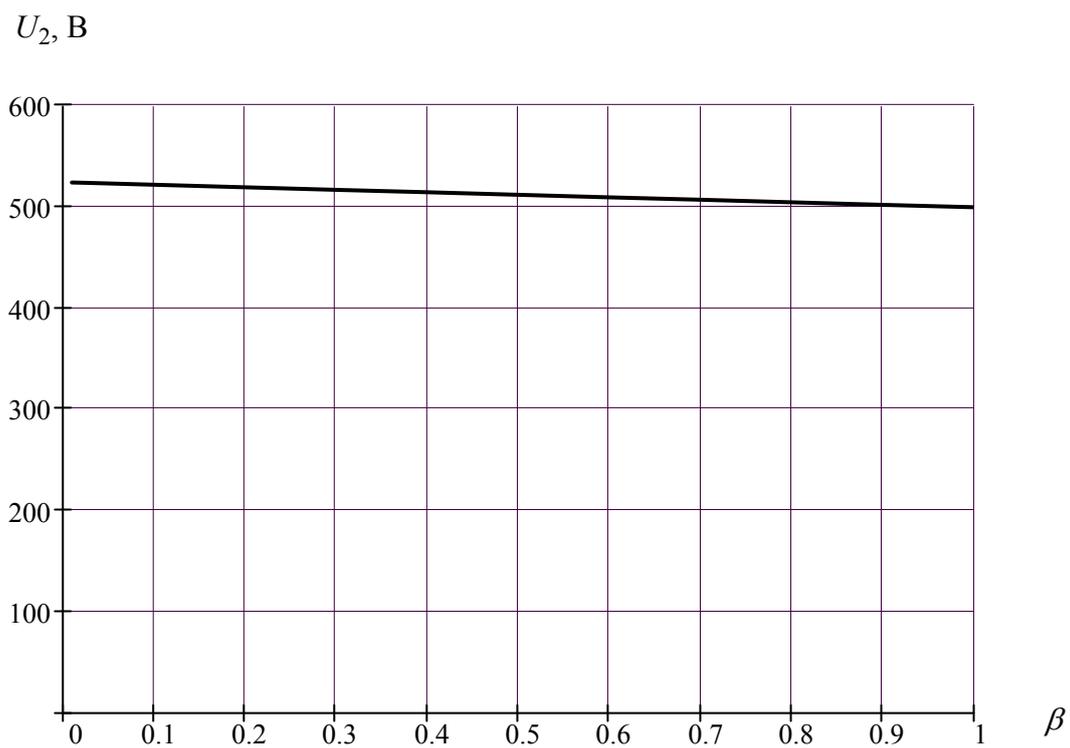


Рис. 3. Внешняя характеристика (нагрузочная прямая)

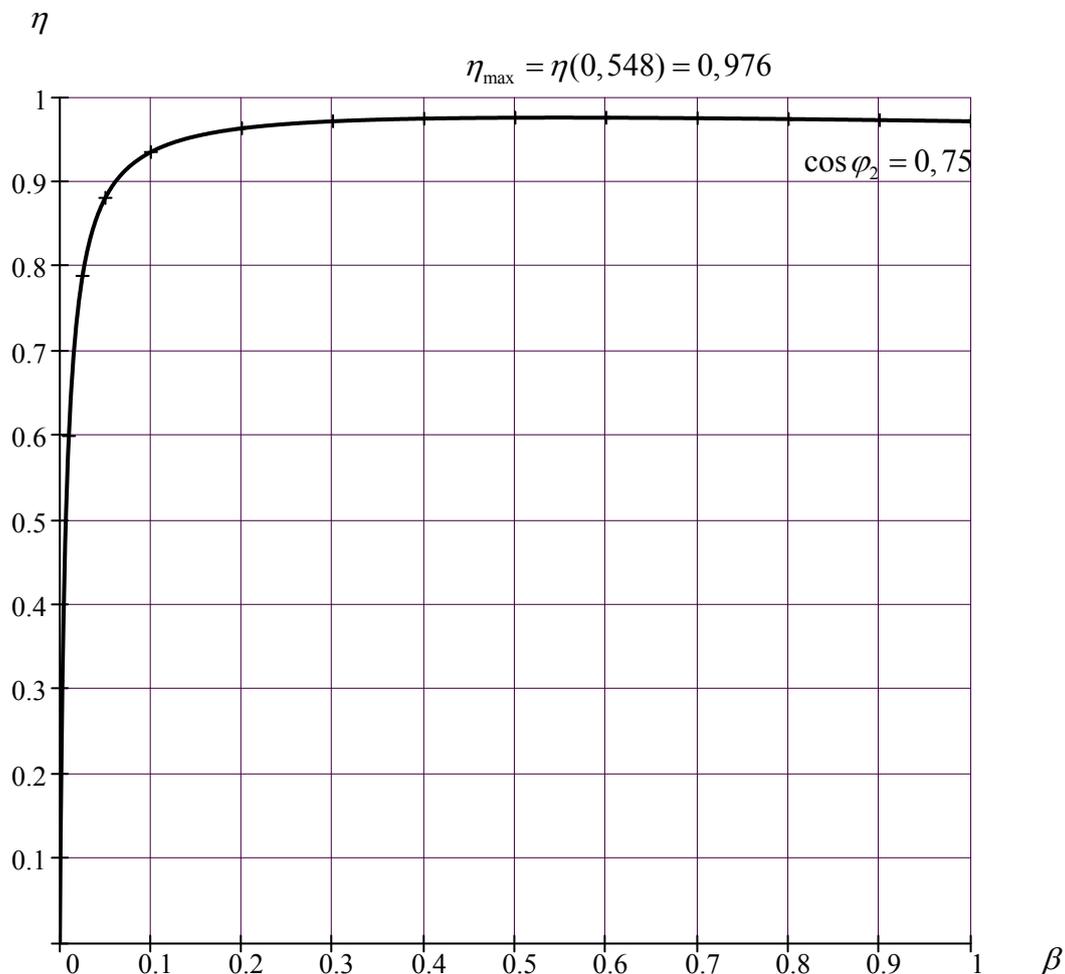


Рис. 3. Зависимость $\eta(\beta)$

Определяем, при какой нагрузке трансформатор имеет максимальный КПД

$$\beta_m = \sqrt{\frac{P_0}{P_k}} = \sqrt{\frac{2100}{7000}} = 0.548 ; \quad \eta_m = \eta(0.548) = 0.976$$

Построение векторной диаграммы начнем с вектора фазного напряжения $\underline{U}'_{2\phi}$, величина которого для $\beta = 0.80$ и $\cos \varphi_2 = 0.75$ будет равна

$$U_{2\phi} = \frac{U_2(0.8)}{\sqrt{3}} = \frac{505.2}{\sqrt{3}} = 291.7 \text{ В}$$

Приведенное значение вторичного напряжения

$$U'_{2\phi} = U_{2\phi} \cdot K = 291.7 \cdot 19.05 = 5557 \text{ В}$$

Вектор тока \underline{I}'_2 отстает по фазе от вектора $\underline{U}'_{2\phi}$ на заданный угол $\varphi_2 = 41.4^\circ$ и равен

$$I_2 = \beta \cdot I_{2n} = \beta \cdot \frac{S_n}{\sqrt{3}U_{2n}} = 0.8 \cdot \frac{420 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 525} = 369.5 \text{ А}$$

$$I'_2 = \frac{I_2}{K} = \frac{369.5}{19.05} = 19.4 \text{ А}$$

Падения напряжения во вторичной обмотке

$$r'_2 I'_2 = 1.98 \cdot 19.4 = 38.4 \text{ В}$$

$$x'_{\sigma 2} I'_2 = 6.24 \cdot 19.4 = 121.1 \text{ В}$$

Падения напряжения в первичной обмотке

$$I_1 = \beta \cdot I_{1n} = 0.8 \cdot 24.25 = 19.4 \text{ А}$$

$$r_1 I_1 = 1.98 \cdot 19.4 = 38.4 \text{ В}$$

$$x_{\sigma 1} I_1 = 6.24 \cdot 19.4 = 121.1 \text{ В}$$

При построении диаграммы рис. 4 пренебрегаем током холостого хода (так как он мал) и принимаем $I_1 = I'_2$.

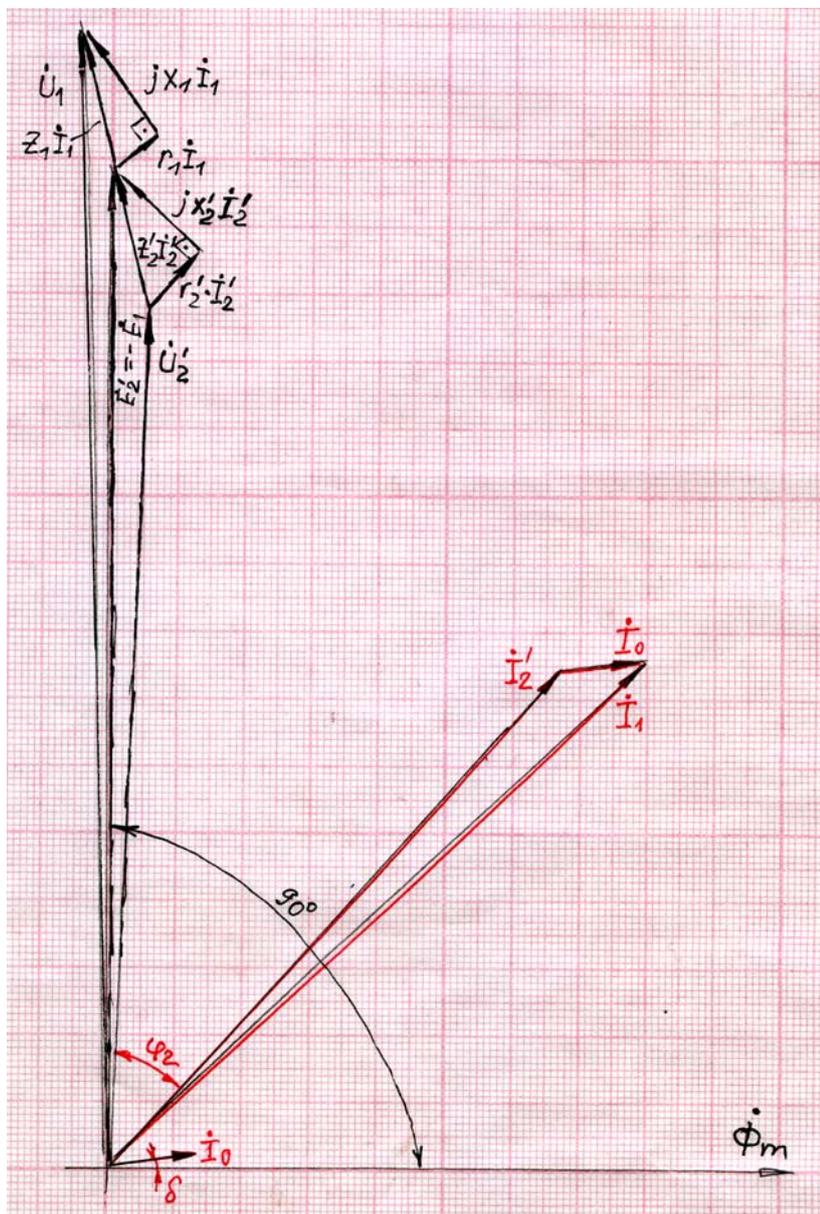


Рис. 4 Векторная диаграмма трансформатора